

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

LOUIS AGASSIZ (1807–1873) Y SUS APORTACIONES A LA GEOLOGÍA. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.

Louis Agassiz (1807–1873) and his contributions to Geology. Didactic implications.

Leandro Sequeiros* y Cándido Manuel García Cruz**

RESUMEN

En conmemoración del bicentenario del nacimiento (1807–2007) del naturalista suizo Louis Agassiz (1807–1873), se hace una breve síntesis histórica de su vida y de su obra geológica. Se analizan sus aportaciones científicas a la paleontología mediante sus estudios sobre los peces fósiles, a la glaciología como uno de los fundadores de la teoría glacial, y al debate sobre el pensamiento evolutivo como catastrofista y oponente al darwinismo. También se plantean algunas actividades para el aula tomando como recurso didáctico pequeños fragmentos de su obra sobre los glaciares.

ABSTRACT

In the remembrance of the bicentenary of the birth (1807–2007) of Swiss naturalist Louis Agassiz (1807–1873), a brief historic summary of his both life and geological work is done. His scientific contributions to the palaeontology by means of his studies on the fossil fishes, to the glaciology as one of the founder of the glacial theory, and to the debate on the evolutionary thought as one catastrophist and opponent of the Darwinism, are analyzed. Some activities for the classroom are also suggested using brief excerpts of his work on glaciers like a didactic resource.

Palabras clave: Louis Agassiz, historia de la geología, didáctica.

Keywords: Louis Agassiz, history of geology, didactics.

LOUIS AGASSIZ (1807–1873), UN NATURALISTA SINGULAR.

Se cumple el bicentenario del nacimiento de Jean Louis Rodolphe Agassiz (1807–1873)¹, un científico nada convencional que hizo de su forma de ver el mundo su bandera ideológica, y que defendió con energía y virulencia en todos los foros en los que se movió (Milner, 1995). Entre sus rasgos personales más sobresalientes, tal como los describe Kaeser (2007), su más reciente biógrafo, se encuentran: escalar cumbres invioladas, penetrar en la selva virgen, el juego del sable, comer en el patio de príncipes, beber con anarquistas, tocar las almas, ganarse a los hombres y hacer volver la cabeza a las mujeres, además de ser entusiasta y jugador, y estar devorado por

su pasión hacia la naturaleza; representa, pues, el prototipo del científico romántico, tanto por su personalidad como por su trágico destino: pasó de ser estrella ascendente de la investigación internacional a las mazmorras de la historia de la ciencia.

Nacido en Mottiers (cantón de Friburgo, en Suiza) el 27 de mayo de 1807, falleció en Cambridge (Massachusetts, Estados Unidos) el 14 de diciembre de 1873 (Agassiz [E.], 1885²; Barber, 1980; Cabezas Olmo, 2002; Gould, 2004; Lurie, 1960, 1970; Makinistian, 2004; Sequeiros, 2002; Oldroyd, 2004; Young, 1998).

Era hijo de un pastor protestante que quiso darle una educación esmerada, aunque en sus primeros años no mostró demasiado interés por los estudios.

* Facultad de Teología, Universidad de Granada, Campus de la Cartuja, Apdo. 2056, 18012 Granada. Correo electrónico: lsequeiros@probesi.org.

** IES Barranco Las Lajas, c/ Las Abiertas s/n, Agua García, 38355 Tacoronte, Santa Cruz de Tenerife. Correo electrónico: cgar-cru@gobiernodecanarias.org.

Los autores son miembros de INHIGEO (International Commission on the History of Geological Sciences).

(1) En conmemoración de este bicentenario, el Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel (Suiza) muestra una interesante exposición que lleva por título "aglagla... l'âge de glace" (21 de enero-21 de octubre/2007).

(2) Esta biografía publicada por su segunda esposa, Elizabeth Cabot Carey Agassiz (1822–1907), incluye también su correspondencia, y es, sin duda, una de las fuentes más importantes sobre la vida y obra de Louis Agassiz. Véase una reproducción del texto en inglés en: <http://www.gutenberg.org/dirs/etext04/agass10.txt>, y un facsímil de la traducción francesa (1887) en: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2038271>.



Fig. 1. Louis Agassiz (1807–1873).

Posteriormente se sentiría atraído por las Ciencias de la Naturaleza, especialmente por los peces de agua dulce, aunque estudió medicina, como muchos naturalistas de esa época, así como anatomía comparada, en las universidades de Zürich, Heidelberg y Munich.

Durante su estancia en Munich trabajó amistad con científicos y filósofos como Döllinger, Schimper, Oken y otros sabios. Asistió durante cuatro años a las clases del filósofo Friedrich Schelling (1775–1854) del que recibió una formación en filosofía de la naturaleza idealista (la conocida como “*Naturphilosophie*”), filosofía que abandonaría décadas después, aunque nunca se libró totalmente de ella como prueban sus escritos antievolucionistas.

En 1829, con 22 años, Agassiz se graduó como doctor en filosofía y un año después, en 1830, en medicina. Posteriormente viajó a Viena, donde trabajó contacto con Alexander von Humboldt (1769–1859). En diciembre de 1831, el joven Agassiz viajó a París para trabajar junto al gran maestro de la época: Georges Cuvier (1769–1832). Asombrado por los conocimientos de Agassiz, Cuvier le confió notas originales y, sobre todo, el método y las claves para interpretar los fósiles (Ellenberger, 1994; Sequeiros, 2002, 2007).

(3) Véase <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k972529/f1.table>.

INTELECTUALES QUE INFLUYEN EN EL PENSAMIENTO DE AGASSIZ.

Son científicos y filósofos incluidos en la corriente de la “*Naturphilosophie*”, una combinación de idealismo platónico y la búsqueda de la armonía y pureza estética, en la que la realidad se ordena a sí misma dentro de una visión espiritualista del ser. Introducida por Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), se propuso la búsqueda de arquetipos naturales, modelos ideales de forma y diseño puro. Sus propagadores fueron un grupo de filósofos de Munich, especialmente F. Schelling.

Friedrich Schelling (1775–1854). Filósofo alemán que enseñó en Jena, Würzburg, Munich, Erlangen y Berlín. Entre otras obras tuvo mucho influjo *Ideas para una filosofía de la naturaleza*, publicada en 1797. Para él, la naturaleza goza de autonomía y tiene una enorme capacidad de regeneración y hay un “plan preestablecido” del orden natural.

Johann Joseph Ignatius Döllinger (1799–1890). Teólogo católico muy influyente en el Concilio Vaticano I. Estuvo muy influido por el pensamiento de Schelling.

Andreas Franz Wilhelm Schimper (1856–1901). Botánico alemán que se especializó en plantas tropicales. Participa de las ideas de la *Naturphilosophie*.

Lorenz Oken (1779–1851). Médico y filósofo de la naturaleza alemán. Realizó importantes trabajos experimentales como la teoría vertebral del cráneo y el desarrollo del intestino en el embrión del pollo. Expuso una teoría celular especulativa y elaboró un sistema de los organismos basado en proporciones numéricas matemáticas. Fue el fundador de la Sociedad alemana de médicos e investigadores de la naturaleza (1822) y de la revista *Isis* de Historia de las Ciencias.

La tarea de Louis Agassiz en Europa (1832–1846)

En 1832, Agassiz se instaló a Neuchâtel (cerca de Ginebra, en Suiza) para desarrollar su trabajo como profesor. Su actividad es entonces desbordante y por ello, dos años más tarde, el Consejo de la ciudad le ofreció una cátedra de Historia Natural creada especialmente para él.

Sus primeros trabajos científicos se refieren al estudio de los peces fósiles que había iniciado con Cuvier, y que representa un reflejo de una de sus aficiones ya desde la infancia: había construido su primer acuario en una pequeña pileta de piedra cuando era niño. La influencia de Cuvier se advierte en la orientación de su gran monografía: *Recherches sur les Poissons Fossiles*³ (París, 1833–1842), obra de cinco volúmenes que describía e ilustraba más de 1.700 especies de peces fósiles, muchos de los cuales le fueron ofrecidos por su maestro, tomando como fundamento los principios de la anatomía comparada.



Fig. 2. Primera página de la obra sobre los peces fósiles (Agassiz, 1833–42).

Posteriormente, Agassiz marchó a Inglaterra para examinar las colecciones de fósiles de los museos. En 1834 la Sociedad Geológica de Londres subvencionó su investigación y ganó la medalla Wollaston en 1836. No había cumplido los 30 años de edad.

La tarea científica de Louis Agassiz en Estados Unidos (1846–1873)

En 1846, con apenas treinta y nueve años, Agassiz era ya un reputado naturalista, por lo que recibe una invitación desde los Estados Unidos para impartir unas conferencias. Desde entonces se instala en este país, y nueve años más tarde, en 1855, preparó su obra magna: *Contributions to the Natural History of the United States*. De los diez volúmenes previstos sólo vieron la luz cuatro de ellos. La acogida que tuvieron las lecciones que impartió en el Instituto Lowell de Boston, le decidieron a fijar su residencia en los Estados Unidos. Desde 1848 estuvo encargado de la cátedra de zoología y de geología de la escuela científica agregada a la Universidad de Harvard, donde siguió impartiendo y difundiendo las tesis catastrofistas y antievolucionistas de Cuvier (Sequeiros, 2002; 2007).

En 1859, año de la publicación de *El Origen de las Especies* de Charles Darwin (1809–1882), obtuvo el primer premio de ciencias físicas de la Academia de Ciencias de París y se le ofreció la cátedra que había ocupado el paleontólogo catastrofista Alcide d'Orbigny (1802–1857) en el Museo de Ciencias de la capital francesa (Coleman, 1983; Richardson, 1999; Dupré, 2006). Pero los rehusó y prefirió continuar en Estados Unidos.

Las publicaciones científicas, tanto geológicas, como paleontológicas y zoológicas de Agassiz están llenas de datos nuevos e interesantes, recogidos durante largos años de estudios. En geología, aportó pruebas irrefutables sobre el transporte de grandes rocas, los llamados bloques erráticos, debido al mo-

SEMBLANZA DE GEORGES CUVIER.

Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Cuvier (Montbéliard, 1769–París, 1832). Se considera el fundador de la Paleontología como ciencia al proponer los principios básicos metodológicos sobre los que se estudia el registro fósil: la anatomía comparada. Fue zoólogo prestigioso y hombre de estado francés, aunque por nacimiento era súbdito alemán y de religión protestante. Ambas condiciones, que habrían podido marginarle en el seno de la sociedad francesa, contribuyeron paradójicamente a su éxito científico y personal. Estudió filosofía y economía en la Karlschule de Stuttgart. Desde 1795 fue profesor de anatomía comparada en el Collège de France y en 1798 en el Museo de Historia Natural de París. En 1796 publicó uno de sus trabajos más conocidos: “Notice sur le squelette d’un grand Quadrupède inconnu jusque’à présent, trouvé au Paraguay, et déposé au Gabinet d’Histoire Naturelle de Madrid”, publicado en *Magazin Encyclopédique*. Restauró este esqueleto y lo incluyó entre los *Megatheria*. Durante esta época publicó sus famosas *Leçons d’Anatomie Comparée* (publicadas entre 1798 y 1805). Más tarde, verá la luz su gran obra paleontológica, *Recherches sur les Ossements fossiles* (publicada en 1812, junto con el *Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe, et sur les changements qu’elles ont produits dans le Règne animal*). Durante la Restauración llegó a ser profesor de alguna facultad de Teología protestante. Y durante el Imperio, también fue muy respetado por sus intereses protestantes. Relacionó la anatomía comparada con la zoología y sentó nuevas bases en taxonomía zoológica. Estudiando los sedimentos y los fósiles de la cuenca de París asentó e intentó justificar la existencia de catástrofes universales sucesivas que provocarían la extinción de las faunas y floras y la reaparición de otras nuevas. Desde 1802 fue secretario de matemáticas y física en la Academia de Ciencias de París.

vimiento de antiguos glaciares mucho más extensos que los que se conocen ahora. La confirmación de la teoría glacial, basada en la explicación de un enfriamiento de la Tierra anterior al período actual, no pudo hacerse sino después de muchos años de estudio y de exploración de los Alpes (Agassiz, 1886; Hallam, 1983).

La aureola científica de que estaba rodeado hizo que uno de los comerciantes más ricos de Nueva York, John Anderson, le regalara, por amor a la ciencia, la isla de Penikese (Estado de Nueva York), con sus barcos y 50.000 dólares, para fundar una escuela de historia natural, que se hizo realidad en 1873, el año de su muerte.

Louis Agassiz está considerado como uno de los “padres fundadores” de la moderna tradición científica norteamericana, pero también su nombre, junto con el de su colega en Harvard, el médico y antropólogo Samuel G. Morton (1799–1851), está ligado a los orígenes del “racismo científico” en los Estados Unidos, y para quienes los negros eran *sub-humanos* e *indolentes*, entre otras “cosas” (Menard, 2001–2002).

La obra científica de Louis Agassiz

Tras su fallecimiento en 1873, con solo 66 años de edad, se recogieron cuidadosamente todos sus trabajos, de los que citamos los más importantes: *Pisces, etc., quos collegit et pingendos curavit Spix, descripsit Agassiz* (Munich, 1829–1831, con 91 láminas litografiadas); *Recherches sur les poissons fossiles* (Neuchâtel, 1833–1842, con 311 láminas, en colaboración con K. Vogt y Desor); *Monographie des poissons fossiles du vieux grès rouge, ou système dévonien des Îles Britanniques* (Soloth., 1844–1845, con 41 láminas); *Iconographie des coquilles tertiaires* (Neuchâtel, 1845, con 15 láminas); *Mémoires sur les moules des mollusques vivants et fossiles* (Neuchâtel, 1840, con 12 láminas).

Los trabajos sobre los glaciares se encuentran en: *Études sur les glaciers*⁴ (Neuchâtel, 1840, con 36 láminas) y *Système Glacier* (con Guyot y Desor, París, 1847, con un atlas).

De su época americana destacamos: *Introduction to the study of Natural History* (Nueva York, 1847), *Lectures on comparative embryology* (Boston, 1849), *Principles of Zoology* (con Gould, Boston, 1848; en alemán, Stuttgart, 1850), *Contributions to the Natural History of North America* (Boston, 1857, tomos I y II), *Essay on classification*

(1859), *Methods of Study of Natural History* (Boston, 1863), *The structure of animal life* (Nueva York, 1866), *Glacial phenomena in Maine* (Boston, 1867), *A journey in Brazil* (Nueva York, 1868), *Scientific results of a journey in Brazil* (Nueva York, 1870).

Agassiz y las ideas evolucionistas

Como apunta Milner (1995), Agassiz fue un anatomista comparativo de la vieja escuela que había seguido fiel y apasionadamente las pisadas de Georges Cuvier. Sus extensos y meticulosos volúmenes sobre los peces fósiles son trabajos de referencia para la descripción de los tipos y fijaron en la práctica esta materia de estudio.

En Harvard fundó el Museo de Zoología Comparada, inaugurado en 1860. Se ha conservado hasta hoy como museo de historia natural de estilo victoriano como él lo diseñó: como un libro de texto de forma tridimensional del plan de la creación, reflejado en la taxonomía, y cuyo objetivo debería ser, según Agassiz, “exhibir el conjunto del reino animal como una manifestación del Supremo Intelecto”.

Como profesor y educador –uno de los aspectos poco divulgados de su labor intelectual (Cooper, 1917; Teller, 1947)–, esperaba haber “enseñado a las personas a observar”: aconsejaba a los estudiantes que leyeran la naturaleza y no los libros: “La naturaleza no son los libros... Si estudiáis la naturaleza en los libros, no la encontraréis cuando salgáis al aire libre” (Agassiz, 1863). Una de las pruebas normales a las que sometía a los estudiantes era la de dejarlos a solas ante un pez o un ave preparados, pidiéndoles que los describieran con el mayor detalle. No se permitían libros ni instrumentos.

Pero pese a sus profundos conocimientos anatómicos y paleontológicos, y a sus estudios sobre fósiles y cambios climáticos, Agassiz se mantuvo siempre como un antievolucionista beligerante, para el que la ciencia contribuía a la celebración de la Creación divina. Sus obras más importantes en este aspecto son *Essay on classification* (1859), y *Methods of Study in Natural History* (1863), en los que se muestra como un romántico idealista que veía el poder del Creador ejemplificado en la flora y en la fauna (Lurie, 1970). Aunque nunca se identificó convincentemente con ningún tipo de religión, como persona creyente en el diseño divino de la creación pensaba que existían unas formas “ideales”, arquetípicas y no reconocía discontinuidad alguna entre los seres vivos y los restos fósiles. Pertenecían al mismo Plan Divino que él veía por doquier en la naturaleza. Siguiendo las ideas de su maestro Cuvier, defendía que, dada la existencia de una diversidad de tipos faunísticos en los estratos inferiores más primitivos en el tiempo geológico, las especies posteriores debían de haber aparecido mediante actos creadores distintos y sucesivos (Albritton, 1980;

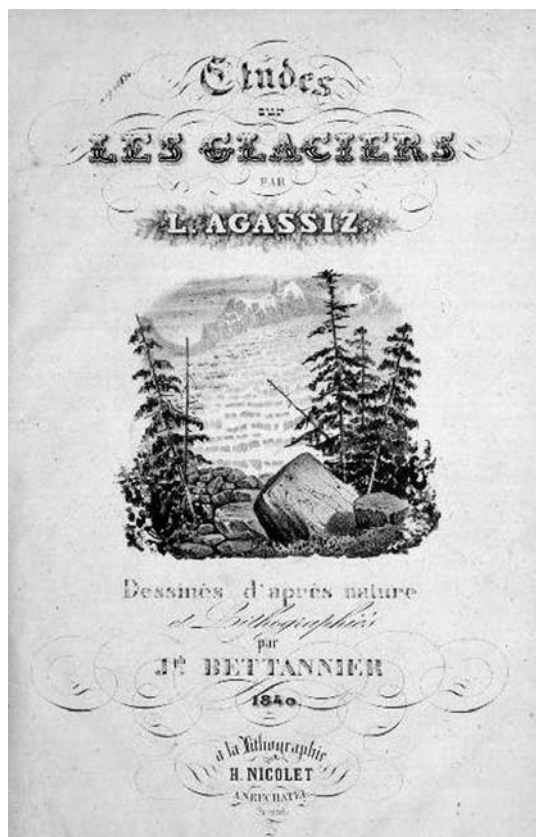


Fig. 3. Portada de la monografía sobre los glaciares (Agassiz, 1840).

(4) Véase <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k105057x/f1.table>.

Carozzi, 1974). En esos años propagaba la idea de que existe un paralelismo constante ante la sucesión de los tipos en las diferentes edades de la Tierra y la de las formas por las cuales pasa cada individuo en el curso de su desarrollo embriológico (Milner, 1995).

En sus *Methods of Study in Natural History* (Agassiz, 1863), publicado cuando ya se conocían las ideas de Darwin, Agassiz comparó la idea de evolución continua –conocida entonces como *hipótesis del desarrollo*– con la alquimia medieval. “La piedra filosofal no se ha de encontrar ya en el mundo inorgánico –insistía–, y debemos considerar tan estéril la transformación de tipos de animales inferiores en superiores mediante algunas de nuestras teorías, como el intento de los antiguos alquimistas de transmutar metales vulgares en oro”.

Apoyándose en su reputación como gran naturalista de Norteamérica, ridiculizó la teoría darwinista en el momento de su aparición (Agassiz, 1860), aunque, en realidad, como ha resaltado Kaeser (2007), la publicación de *El origen de las especies* llegaría a arruinar su brillante carrera. Se negó a reconsiderar su postura intransigente hasta el fin de su vida porque el darwinismo no invocaba el plan divino –las especies eran, según Agassiz, *pensamientos de Dios*–. Como en la Universidad de Harvard impartía también sus enseñanzas el eminente botánico Asa Gray (1810–1888), el poderoso Agassiz no perdía ninguna oportunidad para desacreditar a su colega, con el que mantuvo una interesante polémica.

Agassiz nunca abandonó las ideas catastrofistas heredadas de Cuvier, sin duda porque forman parte de los fundamentos en oposición al darwinismo. Stephen J. Gould (1941–2002), uno de los grandes paleontólogos y biólogos evolucionistas del s. XX, y también profesor en Harvard, encontró una edición de los *Principles of Geology* (1830–1833) de Charles Lyell (1797–1875) anotada en sus márgenes por su principal oponente, que no era otro que el geólogo y paleontólogo suizo (Gould, 1977, 1979). Las anotaciones son extraordinariamente interesantes. Agassiz intenta desmontar los cuatro componentes básicos del uniformitarismo gradualista: 1) invariabilidad e inherencia de las leyes físicas en la naturaleza, 2) uniformidad de los procesos geológicos, 3) gradualismo de los procesos, y 4) uniformidad de configuración de la Tierra.

En 1865 emprendió un viaje de exploración por Brasil, la expedición Thayer, dirigida por Agassiz, que abrió una nueva era para los trabajos geológicos en este país, y proporcionó una buena colección de 80.000 muestras de animales, plantas, fósiles y rocas.

Nunca admitió Agassiz en sus obras ni la unidad de composición orgánica, ni la variabilidad de las especies, ni la unidad de la creación. Llevó a todas las divisiones del método llamado “natural” una idea análoga a la del arquetipo de Richard Owen (1804–1892), y fue declarado y combativo adversario de las teorías de Charles Darwin. Sorprendentemente, un año antes de su fallecimiento, en 1872,

Asa Gray (1810–1888). Botánico y evolucionista norteamericano, profesor en Harvard. En palabras de Charles Darwin, “Asa Gray era un cruce complejo de abogado, poeta, naturalista y teólogo”. Aunque fue el principal defensor del evolucionismo en EEUU, sentía gran proclividad hacia la teología y dedicó muchos años a defender al darwinismo de la acusación de ateísmo. Defendía que el concepto de selección natural no eliminaba del todo el “argumento del diseño divino”. Dios llevaba a cabo su plan a través de la evolución. Su postura la expuso claramente en una serie de ensayos que publicó bajo el título de *Darwiniana* (1876). A Darwin le gustaba tanto que al año siguiente dedicó a Gray su libro sobre las formas de las flores.

Agassiz realizó un viaje a las Islas Galápagos que tanto significado han tenido para el evolucionismo. Gould (1982) ha calificado este viaje como una especie de *desafío* a Darwin, puesto que recorrió la ruta principal del naturalista británico en el *Beagle*, y en el que ni Agassiz, ni su esposa Elizabeth que lo acompañaba, percibieron ningún ejemplo de lucha por la existencia, sino un conjunto de criaturas maravillosas que disfrutaban de la vida que les había proporcionado el Creador, y consecuentemente no tuvo repercusión alguna en cuanto a modificar su valoración del darwinismo (Larson, 2001).

Agassiz, sin embargo, se sintió estupefacto cuando sus mejores estudiantes, incluido su propio hijo Alex, biólogo marino, abandonaron su sistema de ideas y adoptaron la teoría darwinista. Al ver que su maestro Cuvier parecía haberse impuesto al transformismo primitivo de Lamarck, Agassiz tuvo la convicción de que podría “sobrevivir a esa moda” evolucionista. En vez de ello, su influencia sufrió un desgaste progresivo hasta hacerle caer de su pedestal de guía del pensamiento biológico, y relegarle prácticamente a las mazmorras de la ciencia.

Resulta paradójico que muchas de sus ideas sobre ontogenia, morfología, filogenia y sistemática, y su aguda comprensión de que la paleontología, la embriología, la ecología, y la biogeografía, además de la anatomía, mostraban las verdaderas relaciones entre los organismos y contribuían por lo tanto a una mejor clasificación, fueran utilizadas por otros autores, entre ellos el propio Darwin así como por Ernst Haeckel (1834–1919), como pruebas indiscu-

Richard Owen (1804–1892). Anatomista y paleontólogo británico. Ha sido recordado fundamentalmente por su contribución al estudio de los animales fósiles, y en especial de los recogidos por Darwin en su viaje alrededor del mundo. Fue pionero en los estudios de la anatomía comparada en Gran Bretaña, así como de su aplicación a la paleozoología. Intentó dar una explicación de las homologías (semejanza de órganos en los animales) acudiendo a su teoría de los “arquetipos”. Tal vez su obra más importante sea *On the Archetype and Homologies of the Vertebrate Skeleton* (Londres, 1848).

tibles de la realidad evolutiva. Y es, además, irónico que sus colecciones de animales, tanto fósiles como actuales, que forman los fondos fundamentales del Museo de Zoología Comparada que Agassiz fundó en Harvard, pusieran las bases para la aceptación de la teoría darwiniana, y han hecho de este museo una de las instituciones más importantes en todo el mundo sobre estudios evolutivos, tanto en lo que concierne a la selección natural como a la especiación.

Agassiz y la teoría glacial

Se suele hablar de Louis Agassiz como el “*padre*” de la *teoría glacial*. En realidad fue su gran divulgador, aunque hay que reconocer que gracias a su prestigio basado en su capacidad de trabajo, unido a unas extraordinarias dotes de observación y a una imaginación prodigiosa, el *diluvialismo* de la Física Sagrada que había *inundado* las interpretaciones geológicas, sufrió en importante retroceso, sin llegar a su *defunción* total, dando paso al *glacialismo*. Esto no supuso, sin embargo, el abandono de las ideas catastrofistas por parte de Agassiz (Albritton, 1980, 1989; Bolles, 1999; Carozzi, 1967, 1984; Dexter, 1989; Fenton y Fenton, 1945; Geikie, 1895; Imbrie e Imbrie, 1979; Kennedy, 2006; Laudan, 1987; Macdougall, 2004; Meunier, 1911; Moore, 1957; North, 1943; Oldroyd, 1996; Rudwick, 1970).

El debate sobre la interpretación de determinados depósitos sedimentarios incongruentes con las explicaciones geológicas más habituales, estaba abierto desde hacía tiempo, incluyendo aquí también la explicación para los grandes bloques erráticos que se encontraban por ejemplo en la gran llanura central de Suiza, en la región francesa del Jura y en otras zonas de Escandinavia y también en Norteamérica. Científicos catastrofistas como William Buckland (1784–1856) competían en esta interpretación con otros naturalistas de la corriente actualista-uniformitarista, como Charles Lyell (1797–1875): mientras que para los primeros, el diluvio bíblico era el responsable de tales formaciones sedimentarias, para los últimos se trataba de estructuras fluviales y de escorrentía, y en algunos casos concretos, al igual que los bloques erráticos, habían sido transportados sobre grandes masas de hielo flotante (*deriva glacial*). Sin embargo, en la Europa continental las ideas iban por otros derroteros. Como relata el ingeniero de minas germano-suizo Jean de Charpentier (1786–1855), los lugareños de los Alpes, en especial montañeros, leñadores y cazadores, tenían muy claro que los bloques erráticos habían sido transportados por los glaciares que en el pasado habían ocupado una mayor extensión y distribución, y eran los responsables de las estrías y del pulimento que se observaban por doquier en el paisaje alpino (Charpentier, 1835; Imbrie e Imbrie, 1979). Precisamente es Charpentier quien, junto con el también ingeniero Ignace Venetz (1788–1859), convence de esta realidad a Louis Agassiz siguiendo las ideas del suizo Jean-Pierre Perraudin (1767–1858), que en su con-

dición de montañero y cazador había explorado los glaciares alpinos desde su infancia (Forel, 1899).

En 1837, Agassiz pronuncia ante la *Société Héli-vétique des Sciences Naturelles* de Neuchâtel su discurso inaugural como presidente, en el que expone las ideas de la *Era Glacial* (Agassiz, 1837, 1838), y dos años más tarde publica sus *estudios* sobre los glaciares (Agassiz, 1840). Poco después Charpentier hace lo propio con su *ensayo* (Charpentier, 1841). En esos años, Agassiz se convierte en el gran divulgador de la Era Glacial, en su “*apóstol*” según la terminología de Hallam (1983), y durante su proceso de *evangelización* y en su condición de creyente en el diseño Divino, hablaba de los glaciares como si se tratara del “*arado de Dios*”.

La controversia continuó en los años siguientes, y la aceptación prácticamente definitiva de la teoría glacial se produce con la *conversión*, entre otros, de Buckland y Lyell principalmente, que como hemos comentado procedían de filosofías geológicas antagónicas, a lo que contribuyeron también las investigaciones llevadas a cabo en Norteamérica.

El problema que quedaba por resolver, las causas de las glaciaciones, se mantuvo como parte de la controversia hasta las primeras décadas del s. XX, cuando el ingeniero y geofísico serbio Milutin Malankovic (1879–1958) dio una respuesta astronómica al origen de las glaciaciones que ha recibido importantes apoyos experimentales y observacionales.

ORIENTACIONES DIDÁCTICAS

No vamos a insistir aquí sobre el interés que tiene la utilización de la historia de las ciencias en el aula que ya ha sido señalado por numerosos autores (remitimos a algunos artículos relevantes como Gagliardi y Giordan, 1986; Pedrinaci 1993, 1994).

Sin embargo, sí es preciso hacer hincapié en el aspecto novedoso de la *celebración de aniversarios*. Conmemorar un hecho, bien el nacimiento/fallecimiento de una personalidad científica, bien la concreción de una idea, descubrimiento, teoría, etc., tiene su importancia didáctica más allá de la *actividad festiva*. Tal y como advierte Sequeiros (2005), una parte ineludible de la llamada *alfabetización científica* debe consistir en reflexionar sobre qué es la ciencia y sus implicaciones sociales, y de esta forma dar a entender que la ciencia es una construcción humana. Por este motivo, las conmemoraciones aportan al alumnado los siguientes aspectos fundamentales:

- Permiten familiarizarse con los procedimientos, valores, intereses, e ideologías subyacentes al proceso de construcción de imágenes racionales del mundo natural.
- Ayudan a madurar personalmente el modo de interpretar la naturaleza y saber utilizar del modo más elaborado posible un incipiente método científico.
- Contribuyen a aumentar la sensibilización, motivación y curiosidad por el trabajo científico.

Cuadro 1: Breve Cronología de la Controversia sobre la Era Glacial

- 1742: Daniel Tilas, mineralogista noruego, supone que los bloques erráticos de los países nórdicos han sido depositados por icebergs a la deriva (*teoría de la deriva glaciar*).
- 1762: El médico y naturalista suizo Jean Etienne Guettard supone que los bloques erráticos, muy abundantes entre el mar Báltico y los Cárpatos, son restos de una antigua montaña totalmente erosionada.
- 1778: Jean-André de Luc, naturalista suizo, sostiene que el hundimiento progresivo de la corteza terrestre provoca explosiones que desplazan los bloques erráticos a grandes distancias.
- 1779: El geólogo y explorador Horace-Bénédict de Saussure afirma que los bloques erráticos han sido transportados por violentas corrientes de agua tras el levantamiento de los Alpes.
- 1787: Bernhard Fiedrich Kuhn, mitólogo y político alemán, defiende la deriva glaciar.
- 1795: El geólogo escocés James Hutton relaciona el transporte de los bloques erráticos con el movimiento de los glaciares.
- 1802: El escocés John Playfair, profesor de filosofía natural, es intérprete y como tal partidario de las ideas de Hutton.
- 1810: Leopold von Buch, geólogo alemán, es partidario del transporte catastrófico acuoso de los bloques.
- 1815: Jean-Pierre Perraudin, montañero suizo, propone la existencia en el pasado de glaciares mucho mayores y más extensos que en el presente.
- 1818: Ignace Venetz, ingeniero suizo, defiende las ideas de Perraudin; Buch mantiene su adhesión a las ideas de Saussure.
- 1821: El polifacético J.W. von Goethe introduce la discusión sobre el transporte de bloques erráticos en su novela *Años de andanzas de Guillermo Meister (Wilhelm Meisters Wanderjahre)*.
- 1824: Jens Esmark, montañero y mineralogista noruego, reconoce la existencia de antiguos glaciares en Escandinavia.
- 1832: El geólogo alemán Reinhard Bernhardt afirma que la capa de hielo polar ha llegado en el pasado hasta Europa central.
- 1833: Charles Lyell, geólogo escocés, defiende la deriva glaciar para los bloques erráticos.
- 1835: Jean de Charpentier, ingeniero de minas suizo, es partidario del transporte de materiales por los glaciares.
- 1836: Charpentier y Venetz convencen a Louis Agassiz de la realidad de la era glacial.
- 1837: Agassiz expone en su *Discours* ante la Société Helvétique des Sciences Naturelles de Neuchâtel la *Teoría Glacial*; el polifacético naturalista alemán Alexander von Humboldt le sugiere a Agassiz que *abandone su quimera* y retorne a los peces fósiles.
- 1838: Agassiz intenta introducir la teoría glacial en Inglaterra, pero es mal recibida, especialmente por el influyente y excéntrico geólogo y clérigo William Buckland.
- 1839: El paleontólogo norteamericano Timothy Conrad aplica la teoría glacial para explicar algunos sedimentos superficiales en Estados Unidos.
- 1840: Agassiz publica su monografía *Études sur les glaciers*; ante las evidencias glaciares que presentan algunos materiales que encuentran en Escocia, Agassiz consigue persuadir a Buckland.
- 1841: Charpentier publica su *Essai sur les glaciers*; el geólogo norteamericano Edward Hitchcock defiende la teoría de Agassiz ante la Association of American Geologists.
- 1847: Agassiz publica *Système glacier*.
- 1852: El físico británico William Hopkins, inicialmente reticente, considera válidos los presupuestos mecánicos del transporte mediante el hielo.
- 1855: El geólogo norteamericano James D. Dana se muestra partidario de la edad de hielo.
- 1857: Lyell acepta finalmente la teoría glacial.
- 1864: El físico escocés James Croll propone una teoría astronómica basada en la precesión de los equinoccios y en las cambios en la excentricidad de la órbita terrestre para explicar la edad de hielo.
- ...
- 1920: El geofísico serbio Milutin Milankovic desarrolla una teoría matemática sobre los fenómenos térmicos producidos por la radiación solar, que en las décadas siguientes se traduce en una explicación coherente para las glaciaciones.

Cuadro 2: Algunas Pruebas Geológicas Fundamentales de la Teoría Glacial

La Teoría Glacial sostiene que en el pasado, grandes masas de hielo han cubierto una buena parte del hemisferio norte, con una extensión y distribución de los glaciares mucho mayor que en el presente. Como pruebas geológicas a favor se indican las siguientes:

- La fricción del hielo sobre el suelo forma las denominadas *rocas aborregadas*, cuya superficie se presenta lisa y pulida.
- El hielo transporta rocas que van limando la superficie de los materiales sobre los que se desliza, formando estrías que indican la dirección del desplazamiento.
- Los depósitos sedimentarios de origen glaciar no presentan estratificación alguna, ni distribución gravitacional por tamaño de los materiales en relación con la distancia recorrida.
- En los lagos represados por morrenas se encuentran pequeños apilamientos de materiales estratificados, como consecuencia del deshielo en el extremo del glaciar que los originó.
- Los bloques erráticos presentan sus caras y aristas sin erosionar ni embotar.
- Cuando dos glaciares que proceden de valles diferentes se juntan, los materiales que transportan no se mezclan, sino que se depositan por separado en los flancos respectivos. Esto explica por qué los bloques erráticos que se encuentran en algunos valles son de naturaleza granítica en el flanco derecho, y de composición calcárea en el izquierdo.



Fig. 4. Glaciar de Zermatt, parte media (Agassiz, 1840, lámina 4).

Esta vista del glaciar está tomada desde el macizo de Auf-Platten, sobre la orilla izquierda del glaciar, de manera que tenemos en frente la meseta del Riffel con el Riffelhorn. La pendiente del glaciar es muy fuerte aquí; también las crevasses son muy numerosas y muy grandes; las morrenas se confunden cada vez más, y ya no forman sino algunas largas hileras. El torrente que se percibe a la derecha proviene del glaciar de Saint-Théodule, que nace detrás del macizo de Auf-Platten; la superficie del macizo de Auf-Platten está pulimentada hasta una gran altura, lo que prueba que el glaciar ocupaba antes este lugar (Agassiz, 1840, p. 334).

- Muestran claramente los interrogantes e incertidumbres de los científicos en cada época.

Las actividades que se plantean a continuación van precisamente en el sentido de contribuir a la alfabetización científica, y tienden a complementar el desarrollo de contenidos sobre los *Glaciares* y la *Teoría Glacial*, y que pueden adaptarse para los distintos niveles de la enseñanza–aprendizaje de las Ciencias de la Tierra.

Los aspectos biográficos de Louis Agassiz constituyen una buena herramienta didáctica para mostrar en el aula que la ciencia es una construcción humana, y que durante su elaboración, la ideología del científico dirige sus observaciones hacia



Fig. 5. Fragmentos de rocas pulimentadas (Agassiz, 1840, lámina 18).

Aunque los fragmentos que están dibujados aquí provienen de localidades muy diversas, sin embargo su pulimento es de la misma naturaleza y presenta las mismas estrías que sirven para distinguir los efectos del hielo de la acción que produce sobre los peñascos la erosión... (Agassiz, 1840, p. 340).

unas determinadas conclusiones y no hacia otras, como se ha comentado, por ejemplo, en sus ideas sobre el pensamiento evolucionista. La misma utilidad podría dársele a la cronología que se incluye (Cuadro 1).

Es interesante hacer una introducción interdisciplinar a la teoría glacial. Para ello se propone un texto literario del s. XIX: un párrafo de la novela *Años de andanzas de Guillermo Meister* de Goethe, en el que plantea la discusión sobre el transporte de los bloques erráticos.

Las demás actividades se enmarcan en un contexto histórico al manejar documentos científicos originales. Se utiliza como recurso didáctico una selección de pequeños textos extraídos de la obra *Études sur les glaciers* (Agassiz, 1840, caps. XVII y XVIII), y que versan sobre las pruebas aportadas por el naturalista suizo en relación con la extensión de los glaciares en épocas anteriores, y que sirven de apoyo al Cuadro 2, y a las Figs. 4 y 5.

ACTIVIDAD I

...dos o más comensales que hasta allí guardaron silencio, hablaron de una época de intenso frío que habría producido la formación, en las más altas montañas, de glaciares, los cuales se corrieron tierra adentro para servir de paso a pesadas masas pétreas procedentes de épocas muy remotas que sobre tan llanos caminos se trasladaron a lejanos países. Al sobrevenir la época del deshielo de los glaciares, aquéllos bloques de piedra se hundieron en el fondo, quedando para toda la eternidad en aquella tierra extraña. También había sido posible, según ellos, que los hielos flotantes hubiesen transportado desde el Norte enormes peñascos. (Goethe, 1821, libro II, cap. VII, p. 660)⁵.

(5) En la versión original en alemán, esta sección pertenece al cap. 9 del libro II.

I.1. Enmarca históricamente este pequeño texto de Goethe en relación con la teoría glacial, y analiza las dos ideas que se citan sobre el transporte de los bloques erráticos.

ACTIVIDAD II

El hecho de la antigua existencia de glaciares que han desaparecido se demuestra por la presencia de diversos fenómenos que les acompañan constantemente, y que pueden continuar subsistiendo aun cuando el glaciar ha desaparecido. Estos fenómenos son los siguientes:

1°. **Las morrenas.** Su disposición y su composición las hacen siempre reconocibles, aun cuando no descansen ahora sobre el borde de los glaciares o no delimiten inmediatamente ya su extremidad inferior... las morrenas laterales y terminales pueden por sí solas servir para reconocer con certeza los diversos límites de la extensión de los glaciares, porque son fáciles de distinguir de los diques y de los mantos irregulares de bloques que acarrear los torrentes alpinos. Las morrenas laterales depositadas sobre el flanco de los valles raramente están afectadas por los torrentes del fondo; sin embargo, a menudo están atravesadas por las aguas que descienden a lo largo que las paredes, y que, al interrumpir su continuidad, las hacen aún más difíciles de reconocer. (Agassiz, 1840, cap. XVII, p. 241).

II.1. Especifica las diferencias fundamentales entre los materiales arrastrados por el agua—ríos, torrentes— y por el hielo, y que permitan así considerar, como hace Agassiz, las morrenas como pruebas a favor del fenómeno glacial.

II.2. ¿Qué principio fundamental de la estratigrafía podríamos utilizar para caracterizar y reconocer las morrenas a pesar de lo afirmado por Agassiz en las últimas líneas de este párrafo?

ACTIVIDAD III

2°. **Los bloques elevados.** Ocurre con frecuencia que los glaciares rodean los puntos que sobresalen de los peñascos y forman a su alrededor cavidades más o menos profundas que producen el redondeo de las paredes por efecto del movimiento. Si el glaciar disminuye y se retira, los bloques que se encuentran en estos contornos permanecen frecuentemente colgados sobre la cima del peñasco que ocupa la base, en unas condiciones de equilibrio tales que, toda idea de corriente, como causa de su transporte, es inadmisibles en una posición semejante. Cuando los picos del propio peñasco sobresalen por encima de la superficie del glaciar... o aparecen como islotes más considerables en medio

de su estructura... sus flancos se recubren de bloques que los rodean por todas partes y terminan por formar una especie de corona alrededor de su cima, cuando el glaciar decrece o se retira completamente. Las corrientes no producen nada parecido; al contrario, cuando un torrente rompe contra un peñasco saliente, los bloques que acarrea lo rodean para formar más lejos un reguero más o menos regular. Jamás, en circunstancias parecidas, los bloques no pueden descansar ni delante ni sobre los flancos del peñasco. (Agassiz, 1840, cap. XVII, p. 242).

III.1. Explica el proceso de transporte y sedimentación por medio de una corriente acuosa que permita concretar las ideas establecidas aquí por Agassiz.

ACTIVIDAD IV

3°. **Las rocas pulidas y estriadas,** ...son incluso un fenómeno que señala incontestablemente la presencia de un glaciar; puesto que, como hemos dicho con anterioridad, ni las corrientes, ni el oleaje de las grandes playas producen un efecto parecido. La dirección general de sus estrías y de sus surcos indican la dirección del movimiento general del glaciar; las estrías que no poseen más o menos esta dirección general son debidas a efectos locales de dilatación y de retroceso... (Agassiz, 1840, cap. XVII, p. 243).

IV.1. Explica cómo se ha podido originar el pulimento y las estrías que presentan los materiales rocosos transportados por un glaciar.

ACTIVIDAD V

4°. **El lapiaz o lapiz,** que los habitantes de la Suiza alemana denominan *Karrenfelder*. No siempre es posible distinguir la causa de las erosiones, porque... no se diferencian por sus caracteres exteriores, sino únicamente por su posición. Las erosiones de los torrentes ocupan siempre depresiones más o menos profundas, y nunca se extienden sobre grandes superficies inclinadas. El lapiaz, por el contrario, se encuentra frecuentemente sobre las partes salientes de las paredes de los valles, en lugares donde es imposible suponer que las aguas hayan discurrido jamás en forma de corriente. (Agassiz, 1840, cap. XVII, p. 243).

V.1. Agassiz utiliza aquí el término “lapiaz” con su significado localista alpino suizo de “surcos profundos que se encuentran en las regiones heladas”, y que no se corresponde con el concepto geomorfológico que se adoptaría en las décadas siguientes y que se aplica actualmente. Analiza las diferencias entre ambos, especialmente en cuanto a su origen.

ACTIVIDAD VI

Mr. Lyell, para conciliar los diversos fenómenos que presentan los bloques [erráticos], propone otra explicación. Él supone que el transporte de los bloques angulosos se efectuó sobre balsas de hielo arrastradas por corrientes de agua, aproximadamente de la misma forma que los hielos del Norte transportan los bloques que depositan sobre las costas septentrionales de Europa. Mr. Lyell cita numerosos ejemplos de bloques transportados así a grandes distancias... (Agassiz, 1840, cap. XVIII, p. 283).

VI.1. Agassiz expone aquí de forma sintética una teoría propuesta hacia 1742 por el mineralogista sueco Daniel Tilas (1712–1772), y defendida por Charles Lyell, para explicar la presencia de los bloques erráticos. ¿Qué nombre recibe dicha teoría y en qué principio geológico se basaba Lyell para defenderla?

ACTIVIDAD VII

Esta teoría, aunque ingeniosa, sin embargo no es aplicable a los bloques erráticos del Jura, y he aquí el porqué. Los bloques erráticos del Jura no descansan inmediatamente sobre el suelo. En cualquier lugar donde los cantos rodados, que acompañan de ordinario los grandes bloques, no están alterados por influencias posteriores, se observa que forman una capa de algunas pulgadas, y a veces incluso de muchos pies, sobre la que reposan los bloques angulosos. Estos cantos están muy redondeados, incluso pulidos y se apilan de tal manera que los más grandes están en la superficie, y los más pequeños, que a menudo se asemejan a arena fina, en el fondo, inmediatamente sobre las rocas pulimentadas. Ahora bien, el método de transporte de Mr. Lyell explicaría bien por qué los bloques no están redondeados, puesto que estaban protegidos por el hielo que les cubría; pero en modo alguno da cuenta de la presencia de estos cantos rodados que se encuentran en la parte inferior, ni de la formación de las rocas pulidas y de las estrías sobre las que esta capa reposa. (Agassiz, 1840, cap. XVIII, pp. 283–284).

VII.1. Es interesante hacer notar a partir de este texto la gran capacidad de observación que muestra Agassiz –catastrofista convencido–, frente a la de Lyell, cuya explicación, errónea, está enmarcada exclusivamente en los postulados actualistas–uniformitaristas. Este texto puede servir como una prueba del significado de la filosofía actualista como obstáculo epistemológico.

BIBLIOGRAFÍA

Agassiz, E.C.C. (1885). *Louis Agassiz, his life and correspondence*. Houghton, Mifflin & Co., Boston–Nueva York, 2 vols. [Existe trad. francesa en: Fischbacher, París (1887)].

Agassiz, L. (1837). Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Société Helvétique des Sciences Naturelles à Neuchâtel le 24 juillet 1837. *Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, 22, 369–394. [Existe trad. inglesa en Agassiz (1838) y Carozzi (1967)].

Agassiz, L. (1838). Upon glaciers, moraines and erratic blocks. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 24, 364–383. [Este artículo es la versión inglesa del discurso de 1837].

Agassiz, L. (1840). *Études sur les glaciers*. Ed. del autor, Neuchâtel, 346 pp. + Atlas (18 láminas). [Reed. en: Dawsons of Pall Mall, Londres (1966). Existen algunos extractos en versión inglesa en: Mather y Mason (1939, pp. 329–335), y trad. inglesa en Carozzi (1967)].

Agassiz, L. (1847). *Système glacier ou recherches sur les glaciers*. V. Masson, París, 2 vols, 598 pp. + láminas.

Agassiz, L. (1859). *Essay on classification*. Belknap Press, Cambridge (Ma.), (ed. 1962), 268 pp. [Reed. en: Dover, Mineola (N.Y.) (2004); reproducido en: Lynch (2002);].

Agassiz, L. (1860). On The Origin of Species. *American Journal of Science and Arts*, 30, 142–154.

Agassiz, L. (1863). *Methods of Study in Natural History*. Arno, Nueva York (ed. 1970), 319 pp. [Reproducido en: Lynch (2002)].

Agassiz, L. (1886). *Geological sketches*. 2 vol., Houghton–Mifflin, Boston.

Albritton, C.C., Jr. (1980). *The abyss of time*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco (Ca.), 251 pp. [cap. 12, pp. 153–161].

Albritton, C.C., Jr. (1989). *Catastrophic episodes in earth history*. Chapman & Hall, Nueva York, 221 pp. [cap. 5, pp. 53–56].

Barber, L. (1980). *The heyday of natural history, 1820–1870*. Doubleday, Garden City (N.Y.), 320 pp.

Bolles, E.B. (1999). *The Ice Finders. How a poet, a professor and a politician discovered the Ice Age*. Counterpoint, Washington (D.C.), 257 pp.

Cabezas Olmo, E. (2002). *La Tierra, un debate interminable. Una historia de las ideas sobre el origen de la Tierra y el Principio de Uniformidad*. Pressas Universitarias de Zaragoza, 204 pp.

Carozzi, A.V. (ed.) (1967). Introduction. En: *Studies on glaciers, preceded by the Discourse of Neuchâtel, by Louis Agassiz*. Hafner, Nueva York–Londres, pp. I–LXXII.

Carozzi, A.V. (1974). Agassiz's influence on geological thinking in the Americas. *Archives des Sciences*, 27(1), 5–38.

Carozzi, A.V. (1984). Glaciology and the Ice Age. *Journal of Geological Education*, 32, 158–170.

Charpentier, J. de (1835). Notice sur la cause probable de transport des blocs erratiques de la Suisse. *Annales des Mines*, 8, 219–236.

Charpentier, J. de (1841). *Essai sur les Glaciers et sur le terrain erratique du Bassin du Rhone*. M. Ducloux, Lausanne, 363 pp.

Coleman, W. (1983). *La biología en el siglo XIX. Problemas de forma, función y transformación*. Fondo de Cultura Económica, México, 306 pp.

Cooper, L. (1917). *Louis Agassiz as a teacher; illustrative extracts on his method of instruction*. Comstock Publ., Ithaca (N.Y.) (reed. 1945), 90 pp.

- Dexter, R.W. (1989). Historical aspects of Agassiz's lectures on glacial geology (1860–61). *Earth Sciences History*, 8(1), 75–79.
- Dupré, J. (2006). *El legado de Darwin. Qué significa hoy la evolución*. Katz Eds., Buenos Aires, 202 pp.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la Géologie*. Technique et Documentation, París, tomo 2, 381 pp.
- Fenton, C.L. y Fenton, M.A. (1945). *Giants of geology. The story of the great geologists*. Doubleday Co., Garden City (N.Y.) (ed. 1952), 333 pp. [cap. x].
- Forel F.A. (1899). Jean-Pierre Perraudin de Lourtier. *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 35(132), 104–113.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 253–258.
- Geikie, A. (1895). *The Founders of Geology*. Dover Publ., Nueva York (facsimil 1962 de la 2ª ed. 1905), 486 pp. [cap. xiv, pp. 442–449].
- Goethe, J.W. von (1821). *Años de andanzas de Guillermo Meister*. En: *Obras completas*. Ed. Aguilar, Madrid (trad. castellana 1987), tomo II, pp. 518–753.
- Gould, S.J. (1977). Uniformity and catastrophe. En: *Ever since Darwin. Reflections in Natural History*. W.W. Norton, Nueva York, cap. 18, pp. 147–152.
- Gould, S.J. (1979). Agassiz's marginalia in Lyell's *Principle*, or the perils of uniformity and the ambiguity of heroes. En: W. Coleman y C. Limoges (eds.). *Studies in the History of Biology*. The John Hopkins University Press, Baltimore, pp. 119–138.
- Gould, S.J. (1981). Agassiz in the Galapagos. *Natural History*, 90(12), 7–14. [Reproducido en: Gould, S.J. (1983). *Dientes de gallina, dedos de caballo*. Ed. Crítica, Barcelona (trad. castellana 1995), cap. 8, pp. 90–100].
- Gould, S. J. (2004). *La Estructura de la Teoría de la Evolución*. Tusquets, Barcelona, 1.426 pp.
- Hallam, A. (1983). *Grandes controversias geológicas*. Ed. Labor, Barcelona (trad. castellana 1985), 180 pp. [cap. 3, pp. 63–80].
- Imbrie, J. e Imbrie, K.P. (1979). *Ice ages. Solving the mystery*. MacMillan Press, Londres, 224 pp. [caps. 1–2].
- Kaesar, M.A. (2007). *Un savant séducteur. Louis Agassiz (1807–1873), prophète de la science*. Éd. de l'Aire, Vavey, 200 pp.
- Kennedy, B. (2006). Inventing the Ice Age: The rôle of Louis Agassiz. En: *Inventing the Earth. Ideas on landscape development since 1740*. Blackwell Publ., Malden (Ma)–Oxford, cap. 4, pp. 41–54.
- Larson, E.J. (2001). *Evolution's workshop: God and science on the Galapagos Islands*. Basic Books, Nueva York, 320 pp. [2ª parte].
- Laudan, R. (1987). *From mineralogy to geology. The foundations of a science, 1650–1830*. University of Chicago Press, Chicago. (ed. 1993), 278 pp. [pp. 210–216].
- Lurie, E. (1960). *Louis Agassiz, a life in science*. Chicago University Press, Chicago, 475 pp. [reed. en: Johns Hopkins University Press, Baltimore (1988)].
- Lurie, E. (1970). Agassiz, Jean Louis Rodolphe. En: C.C. Gillispie (ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. C. Scribner & Sons, Nueva York, vol. 1, pp. 72–74.
- Lynch, J.M. (2002). *Agassiz on evolution*. Thoemmes, Bristol, 2 vols., 720 pp. [Reproduce Agassiz (1859, 1863)].
- Macdougall, D. (2004). *Frozen Earth: The once and future story of Ice Ages*. University of California Press, Berkeley (Ca.), 256 pp. [caps. 3–5].
- Makinistian, A.A. (2004). *Desarrollo histórico de las ideas y teorías evolucionistas*. Prensas Universitarias, Zaragoza, 293 pp.
- Mather, K.F. y Mason, S.L. (1939). *A source book in Geology, 1400–1900*. Hafner Publ., Nueva York–Londres, (ed. facsimil 1964) [pp. 329–325].
- Menard, L. (2001–2002). Morton, Agassiz, and the origins of scientific racism in the United States. *Journal of Blacks in Higher Education*, 34, 110–113.
- Meunier, S. (1911). *L'évolution des théories géologiques*. F. Alcan Éd., París, 364 pp. [cap. xi, pp. 261–282]. [Existe trad. castellana en Librería Gutenberg de José Ruiz, Madrid (1911)].
- Milner, R. (1995) *Diccionario de la Evolución. La humanidad a la búsqueda de sus orígenes*. Bibliograf SA, Barcelona, 684 pp. [pp. 33–35].
- Moore, R. (1957). *The earth we live on. The story of geological discovery*. J. Cape, Londres, 348 pp. [cap. 7, pp. 117–135].
- North, F.J. (1943). Centenary of the glacial theory. *Proceedings of the Geologists' Association*, 54, 1–28.
- Oldroyd, D. (1996). *Thinking about the Earth: A history of ideas in geology*. Athlone, Londres, 410 pp. [cap. 7, pp. 145–166].
- Oldroyd, D. (2004). Agassiz. En: R.C. Selley, L.R.M. Cocks y I.R. Plimer (eds). *Encyclopedia of Geology*. Elsevier Ltd, Oxford, Vol. 3, pp. 174–179.
- Pedrinaci, E. (1993). Utilidad de la historia de la geología. *Educación Abierta*, 10, 111–146.
- Pedrinaci, E. (1994). La historia de la geología como herramienta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2–3), 332–339.
- Richardson, R. J. (1999). *El significado de la Evolución. La construcción morfológica y la reconstrucción ideológica de la teoría de Darwin*. Alianza Ed., Madrid, 230 pp.
- Rudwick, M.J.S. (1970). The glacial theory. *History of Science*, 8, 137–157.
- Sequeiros, L. (2002). *La extinción de las especies biológicas. Construcción de un paradigma científico*. Discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza. Nov. 2002. *Monografías de la Academia de Ciencias de Zaragoza*. Noviembre/2002, N° 21, 85 pp. [También en: www.unizar.es/acz/05Publicaciones/MonografiasPublicadas/Mongr21.pdf].
- Sequeiros, L. (2005). *Guía para la celebración de centenarios en las Ciencias de la Naturaleza*. Ed. Octaedro, Barcelona, 206 pp.
- Sequeiros, L. (2007). Cuando hablamos de evolución, ¿de qué evolución estamos hablando? *Proyección*, 224, 29–47.
- Teller, J.D. (1947). *Louis Agassiz, scientist and teacher*. Ohio State University Press, Columbus (Oh.), 145 pp.
- Young, D. (1998). *El descubrimiento de la Evolución*. Ed. del Serbal, Barcelona, 294 pp. ■

Fecha de recepción del original: 7 marzo 2007.
Fecha de aceptación definitiva: 25 junio 2007.